

Для модального анализа необходимо построить твердотельную модель батареи вихревых очистителей с учетом массы жидкости в вихревых очистителях и жесткости элементов конструкции, в том числе присоединительных муфт (рис. 14).

Результаты модального анализа определяют формы и частоты собственных колебаний конструкции, по которым можно определить окolorезонансные интервалы частот. Для примера представлена первая форма колебания на частоте 28,4 Гц (рис. 15).

Исследование гидродинамики вихревого очистителя с одним входом и опорных конструкций подробно представлены автором в [5].

## Список литературы

1. Пат. 86260 РФ, МПК F16F 13/26, D21F 1/00. Ротор гидродинамической сортировки для бумажной массы / Исаков С.Н., Маркин А.А. – 2012109452/12; Заявлено 12.03.2012; Оpubл. 10.09.2012.
2. Пат. 134937 РФ, МПК D21D 5/02. Регулируемое щелевое сито / Исаков С.Н., Сокотов В.А., Меньшиков А.А.. – 2013119945/12; Заявлено 24.04.2013; Оpubл. 27.11.2013.
3. Исаков С.Н.. Колебания вертикальных роторов сортировок бумажной массы / Исаков С.Н., Сокотов В.А. // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке [Электронный ресурс] : электронное научное издание : Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием. «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова». – 2013 С. 220-224.
4. Пат. 106903 РФ, МПК D21D 5/24, B04C 3/00. Регулируемое щелевое сито / Исаков С.Н., Куцубина Н.В., Ложкин И.В.. – 2011100228/12; Заявлено 11.01.2011; Оpubл. 27.07.2011.
5. Исаков С.Н. Разработка методов диагностики конструктивных элементов массоподводящих систем бумагоделательных машин: дисс. на соиск. учен. степ. кандидата техн. наук 05.21.03. – Екатеринбург, 2010. – 145 с.

---

УДК 676.021

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «САЛЬНИК-ВАЛ»

Гончаров Александр Алексеевич,  
студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [gonchar.mex\\_66@mail.ru](mailto:gonchar.mex_66@mail.ru)

Исаков Сергей Николаевич,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Sergevisako@ya.ru](mailto:Sergevisako@ya.ru)

**Ключевые слова:** центробежный насос, уплотнение, износ, ресурс.

**Аннотация.** При эксплуатации центробежных насосов сальниковые уплотнения необходимо поджимать, подтягивая нажимную втулку сальниковой камеры. Для увеличения интервала между протяжками сальники перетягивают, что приводит к ускоренному износу уплотнений и вала. Для увеличения срока службы сальников и вала необходимо оптимизировать усилие затяжки нажимной втулки.

**SIMULATION OF THE TRIBOLOGICAL SYSTEM  
«SEAL-SHAFT»**

**Goncharov Alexander Alekseevich,**  
student, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [gonchar.mex\\_66@mail.ru](mailto:gonchar.mex_66@mail.ru)

**Isakov Sergey Nikolaevich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [Sergeyisako@ya.ru](mailto:Sergeyisako@ya.ru)

**Key words:** centrifugal pump, seal, wear, resource.

**Abstract.** During operation of centrifugal pumps, the oil seal must be preloaded by pulling the pressure sleeve of the oil seal chamber. To increase the interval between the broaches, the seals are pulled, which leads to accelerated wear of the seals and the shaft. To extend the service life of the seals and shaft, optimize the tightening force of the pressure bushing.

В целлюлозно-бумажном производстве (ЦБП) используется большое количество воды, так, для изготовления 1 кг бумаги расходуется около 300 л воды. Но большая часть этого количества – это оборотная вода, которая находится в замкнутом технологическом цикле. Насосно-трубопроводная система в ЦБП – это разветвленная система для перекачки оборотной воды, бумажной массы и химикатов, в которой используется большое количество насосов. В большей массе они центробежного типа.

От технического состояния насосов зависит работоспособность всей системы. Наиболее частым дефектом у центробежных насосов является течь сальниковых уплотнений (рис.1), которая может возникать из-за износа сальников или (и) вала в месте сопряжения с сальником (рис.2).

Течь сальникового уплотнения приводит не только к разливу жидкости около насоса и к повышенному расходу сырья, так как товарное волокно уходит в канализацию через протечки, но и к преждевременному выходу насоса из строя из-за попадания перекачиваемой жидкости в подшипниковые узлы.



Рис. 1. Течь сальниковых уплотнений



Рис. 2. Выработка в местах установки сальников

Наиболее распространены в насосах четыре вида уплотнений: сальниковые (рис. 3а), манжетные (рис. 3 б) и торцевые (рис. 3 в) и лабиринтные.

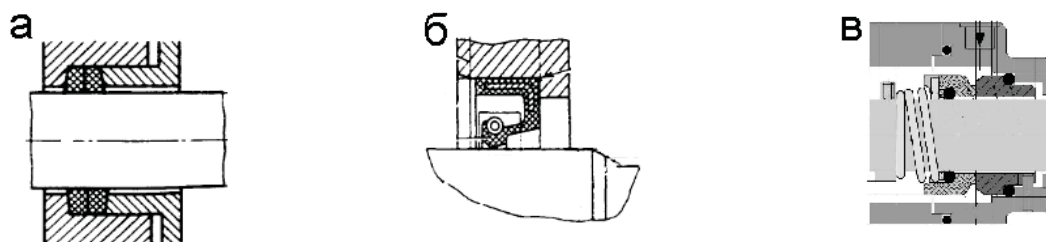


Рис. 3. Виды уплотнений: а – сальниковые, б – манжетные, в – торцевые

Сальниковые (набивные) уплотнения представляют собой набивные кольца из волокнистого материала, находящиеся в сальниковой камере.

Манжетные уплотнения выполнены из эластичного материала, который может быть армирован для придания дополнительной жесткости.

Торцевые (сильфонные) уплотнения состоят из пары колец, установленных на вал рабочего колеса и плотно прилегающих друг к другу. Одно из них вращается вместе с валом рабочего колеса, а другое остается неподвижным. Неподвижное кольцо непосредственно прилегает к корпусу насоса, место стыка герметизировано кольцом из эластомера. Торцевые уплотнения хороши тем, что обеспечивают меньшие утечки, способны работать при более высоких температурах, давлениях и с более агрессивными средами.

Для прогнозирования долговечности работы насосов необходимо рассчитывать износ в сопряжении вала с уплотнением. Ниже представлены факторы, влияющие на износ (рис.4), которые представлены в виде диаграммы Исикавы [1].

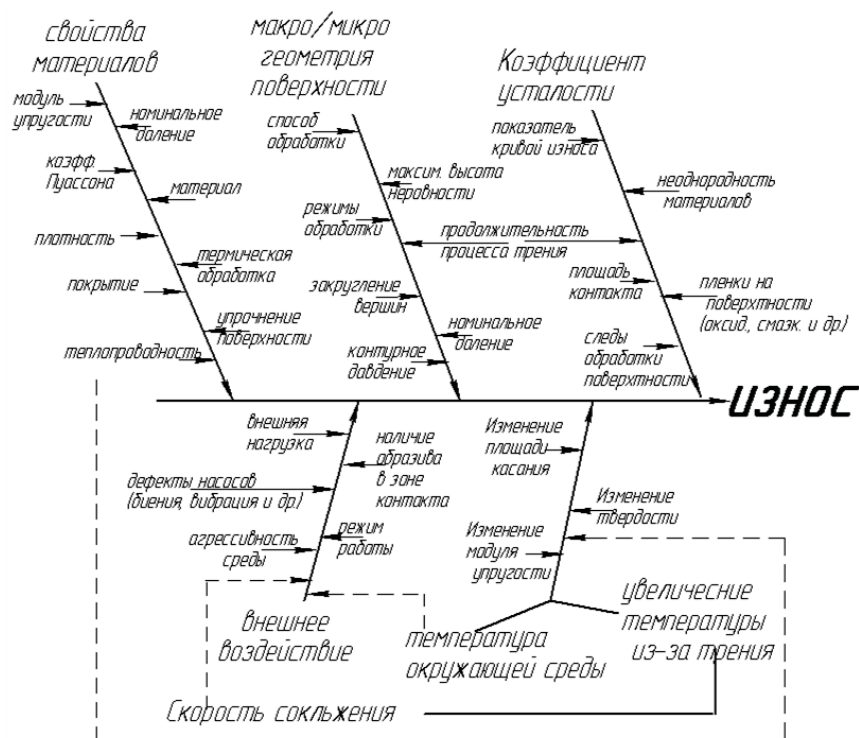


Рис. 4. Диаграмма влияния факторов на износ

Узел уплотнения вала и сальниковой набивки принят трибологической системой «вал-втулка», в основу которой заложен степенной закон изнашивания [2]. Скорость изнашивания определяется по зависимости (1):

$$\gamma_{\Sigma} = (I_{h1} + I_{h2}) \cdot V_{ск} = (A_1 \cdot P_x^{B1} + A_2 \cdot P_x^{B2}) \cdot V_{ск}, \quad (1)$$



Моделирование трибологической системы производим в программе инженерных расчетов, которая основана на методе конечных элементов [6]. В программу импортируется 3D модель уплотнительного узла, построенная в программе *Компас*. Для упрощения расчета построен только сегмент вала, кольца уплотнения и корпуса насоса (рис. 6.). Строится конечно-элементная модель нанесением конечно-элементной сетки, которая состоит из четырех узловых тетраэдерных элементов (рис. 7).

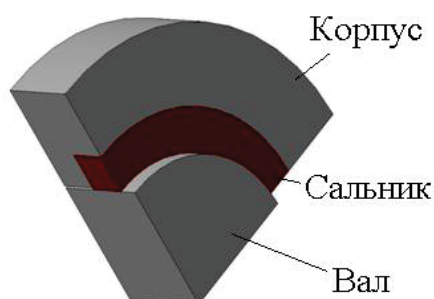


Рис.6. Твёрдотельная модель «корпус насоса-сальник-вал»

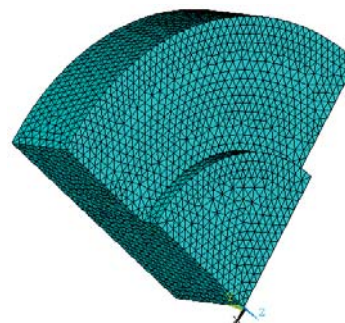


Рис.7. Конечно-элементная модель

Весь расчет можно разбить на три этапа (три шага нагружения).

На первом этапе назначается время первого шага нагружения, задаётся угловая скорость вращения вала, указываются контактные поверхности и трение на них. Модель закрепляется и производится промежуточный расчет. Модель изнашивания активизируется, но интенсивность изнашивания задается равная нулю, т.е. износа не происходит.

На втором этапе назначается время второго шага нагружения, задаются осевое давление на сальник, интенсивность изнашивания для стали и для сальника. Проводится промежуточный расчет.

На третьем этапе указывается время износа и проводится окончательный расчет. Результаты расчета износа можно оценить по полям перемещения и напряжений. Качественно картины износа сальника и вала представлены на рис. 8 и 9. Для лучшей визуализации износ сильно масштабирован.

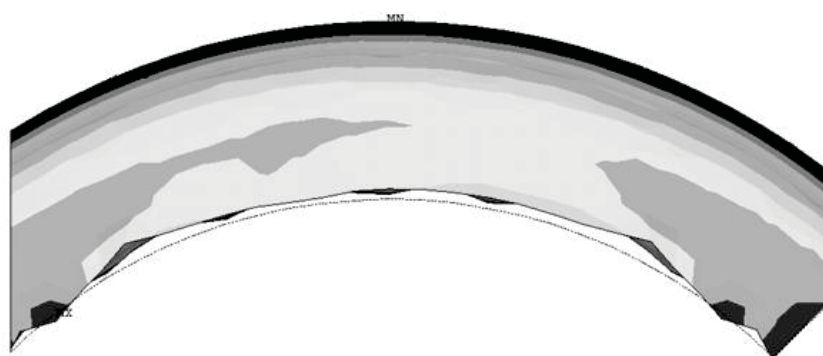


Рис.8. Характер износа сальника





Рис.9. Характер износа вала под сальником

Далее в модели планируется учесть нагрев при трении и отвод тепла в окружающую среду.

Количественно произвести расчет возможности пока нет, так как требуется определить интенсивности изнашивания сальника и вала при реальных условиях (самосмазывание бумажной массой, наличие загрязнений, внешних температурных воздействий, изменение осевой силы и др.).

## Список литературы

1. Крагельский, И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
2. Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений. Учебное пособие для студентов специальности 170515 / РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт; Б.П. Сафонов, А.В.Бегова. - Новомосковск: Изд-во Новомосковского института, 2004. - 66 с.
3. Р 50-95-88. Рекомендации. Обеспечение износостойкости изделий. Основные положения. –М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. – 24 с.
4. Надежность машин. Трибология и триботехника в оборудовании лесного комплекса: учеб. Пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 1504.05(170400) «машины и оборудование лесного комплекса»/ А.А. Санников, Н. В. Куцубина, А. М. Витвинин; Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург: [УГЛТУ], 2006. – 145 с.
5. Лекции по МАХН. Расчет сальниковый уплотнений. URL:[http://macp.web.tstu.ru/02/02\\_010\\_01.html](http://macp.web.tstu.ru/02/02_010_01.html) (дата обращения 5.03.2018).
6. Кузнецов, В.В. Моделирование износа в пакете ANSYS/ В.В. Кузнецов, В.Н. Водяков, М.В. Артамонов// Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвузов. сб. науч. тр. / редкол.: Сенини П.В. [и др.] – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. С. 431 - 439.